

**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA  
 PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA  
 FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**


**Nº DE RADICACIÓN:** \_\_\_\_\_

**INFORMACIÓN EJECUTORES**

**Ejecutor 1**

Nombre (s):	DIEGO FERNANDO	
Apellido (s):	MORENO RUIZ	
Código:	20131375098	
E-mail:	DIMORU80@GMAIL.COM	
Teléfono fijo:	6750840	
Celular:	3112435916	

**Ejecutor 2**

Nombre (s):	JHON JAIRO	
Apellido (s):	ORTIZ RUIZ	
Código:	20142375105	
E-mail:	JJORTIZR@CORREO.UDISTRITAL.EDU.CO	
Teléfono fijo:	7147909	
Celular:	3118825355	

**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	RECUPERACIÓN DE AGUA DE PURGAS DE CALDERA, TORRES DE ENFRIAMIENTO Y ENJUAGUE SUAVIZADORES APLICANDO LA TECNOLOGIA DE OSMOSIS INVERSA	
Duración (estimada):	3 MESES	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	INVESTIGACIÓN APLICADA	
Línea de Investigación de la Facultad*:	DESARROLLO TECNOLÓGICO LOCAL E INSTITUCIONAL.	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	CONVERSIÓN DE ENERGÍAS Y MECÁNICA DE FLUIDOS.	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Hidráulica, estática, automatización	

**INFORMACIÓN PASANTÍA**

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Director: (Vo. Bo.)	ING. M.SC. LUINI LEONARDO HURTADO CORTES
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	ING. M.SC. LUINI LEONARDO HURTADO CORTES

**RECUPERACIÓN DE AGUA DE PURGAS CALDERA, TORRES DE  
ENFRIAMIENTO Y ENJUAGUE SUAVIZADORES APLICANDO LA  
TECNOLOGÍA DE OSMOSIS INVERSA**

**DIEGO FERNANDO MORENO RUIZ  
COD: 2013375098**

**JHON JAIRO ORTIZ RUIZ  
COD: 20142375105**

**TRABAJO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO.**

**PRESENTADO A:  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C**

## **TABLA DE CONTENIDO**

### **1. IDENTIFICACIÓN**

#### **1.1 Título**

#### **1.2 Introducción**

### **2. ASPECTOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS**

#### **2.1 El problema y objetivos de la investigación**

#### **2.2 Antecedentes**

#### **2.3 Justificación**

#### **2.4 Formulación clara y precisa del problema**

#### **2.5 Tipo de Investigación y limitación del problema**

##### **2.5.1 Tipo de investigación**

##### **2.5.2 Limitación del problema**

#### **2.6 Objetivos generales y específicos**

##### **2.6.1 Objetivo General**

##### **2.6.2 Objetivos específicos**

#### **2.7 Resultados esperados**

### **3. METODOLOGÍA GENERAL**

### **4. MARCO TEÓRICO**

### **5. HIPÓTESIS**

### **6. INDICACIÓN DEL UNIVERSO, LA POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **7. PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICA PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

### **8. ASPECTOS DE ADMINISTRACIÓN Y CONTROL**

#### **8.1 Actividades a realizar**

#### **8.2 Presupuesto de la investigación**

### **9. ASPECTOS INFORMATIVOS SOBRE LA INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE**

#### **9.1 Información general sobre la institución o empresa donde se Realizará la investigación.**

### **10. ANEXOS**

#### **10.1 Bibliografía.**

# 1. IDENTIFICACIÓN

## 1.2 Título

RECUPERACIÓN DE AGUA DE PURGAS DE CALDERA, TORRES DE ENFRIAMIENTO Y ENJUAGUE SUAVIZADORES APLICANDO LA TECNOLOGÍA DE OSMOSIS INVERSA.

## 1.3 Introducción

En la Actualidad, la empresa Bio D S.A, posee infraestructuras de producción de Biodiesel, en el municipio de Facatativá, departamento de Cundinamarca. Sus instalaciones están dentro de un predio de alrededor de 8000 metros cuadrados.

Las instalaciones de la compañía cuentan y se nutren de captación de agua lluvia y un yacimiento de agua natural subterránea, a 150m de profundidad, para satisfacer sus necesidades de agua para uso industrial. Esta agua pasa a ser purificada para su uso en el proceso de producción y para alimentar los sistemas de enfriamiento y generación de vapor. El consumo promedio de agua captada para el año 2015 fue de 450 metros cúbicos al día.

Una de las unidades de purificación es un tren de suavización que utiliza un filtro con resina de intercambio iónico, catiónico fuerte para la retención de iones de calcio y magnesio, esta unidad de suavización debe ser sometida cada 72 horas a un proceso de regeneración para quitar la acumulación del calcio y magnesio y restaurar el sodio, con una solución de NaCl al 25% y luego realizar un enjuague gastando un volumen de 15 m<sup>3</sup> de agua, la cual queda con alta conductividad (>40000µs/cm).

En los sistemas de enfriamiento y generación de vapor, al presentarse una evaporación del agua, esta sale como agua pura, dejando atrás su carga de solidos disueltos concentrados entre 4 y 10 veces en las torres de enfriamiento y entre 10 y 20 veces en la caldera.

Si no hay medios de control, la concentración de solidos disueltos en aumento puede alcanzar niveles que afecten los materiales de todo el circuito de enfriamiento o de la caldera y generar incrustaciones sobre las superficies de intercambio las cuales actúan como aislante del calor reduciendo la de trasferencia de calor deseada.

Para alcanzar una calidad de agua que sea aceptable para las torres de enfriamiento, el sistema de circulación y las calderas, se debe estabilizar las concentraciones de solidos disueltos por medio de la descarga constante de una

porción del agua, normalmente estas descargas ricas en sales, depósitos y otras impurezas, van a los sistemas de alcantarillado o son vertidos a cuerpos de agua superficiales.

El sistema de enfriamiento de Bio D, consta de dos torres de tiro mecánico forzado, que se usan para refrigerar un volumen de 522 metros cúbicos por hora de agua recirculada, en este sistema se purgan 13m<sup>3</sup>/día de agua.

## **2. ASPECTOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS**

### **2.1 El problema y objetivos de la investigación**

El problema radica en estas aguas que presentan conductividades por encima de 1500µs/cm, las cuales deben ser transportadas hacia una planta de tratamiento, externa a la compañía, esta planta presta el servicio de tratamiento con una tarifa de 158\$/Kg de agua tratada.

Estos elevados costos de disposición y el interés de la empresa por disminuir la cantidad de agua utilizada diariamente para su funcionamiento, dieron viabilidad al desarrollo del proyecto de reutilización de un porcentaje de estas aguas a través de la implementación de un proceso de osmosis inversa.

Se seleccionó la tecnología de osmosis inversa, teniendo en cuenta que para el tipo de contaminantes que se requieren remover (Sólidos disueltos) los procesos de membrana son los más aplicables en especial el proceso de osmosis inversa, debido a que esta tecnología actualmente es objeto de gran actividad comercial y aplicaciones a gran escala.

### **2.2 Antecedentes**

La osmosis inversa es uno de los procesos de membrana más comúnmente utilizados para el tratamiento del agua. Como para cualquier proceso de tratamiento del agua la osmosis inversa se selecciona en base a costo y calidad, siendo el costo el factor principal la mayoría de las veces.

La osmosis inversa es capaz de rechazar contaminantes o partículas con diámetros tan pequeños como 0,0001µm, la osmosis inversa puede describirse

como un proceso de difusión controlada en la que la transferencia de masa de iones a través de las membranas está controlada por difusión. Consecuentemente este proceso puede llevar a la remoción de sales, durezas, patógenos, turbidez, compuestos orgánicos sintéticos, pesticidas y la mayoría de los contaminantes del agua conocidos hoy en día.

Una de las primeras aplicaciones de la tecnología de membrana fue la conversión del agua de mar en agua potable. Los contaminantes a eliminar en esta aplicación serían las sales disueltas o principalmente el cloruro sódico.

Actualmente, son muy pocas las empresas en la industria colombiana que utilizan este tipo de procesos debido a la falta de legislación por parte del estado para controlar el uso de agua en procesos industriales.

Algunas de estas son:

Refinería de Barrancabermeja, Ecopetrol invierte \$481 millones de dólares para implementar y modernizar los sistemas de tratamiento de aguas residuales de sus instalaciones. Con la implementación de la planta de osmosis inversa (un componente de todo el sistema de tratamiento) recupera aproximadamente el 10% del agua residual, y luego la reingresa al sistema como agua industrial o desmineralizada para sus procesos de refinación.

Campo Dina Huila, implementa planta de osmosis inversa para reincorporar al proceso el 40% del agua utilizada en el lavado de gas con amina.

### **2.3 Justificación**

Las industrias que utilizan vapor y agua de enfriamiento generan una cantidad importante de residuos líquidos con alta conductividad, para el caso de Bio D S.A se generan 900m<sup>3</sup>/mes. El reciclaje industrial de esta agua contribuye a minimizar la presión sobre el recurso hídrico al captar menos agua, además que reduce las descargas de agua con alta salinidad a cuerpos de agua superficiales.

Actualmente los suministros de agua están limitados en cantidad y calidad, esta limitación se ilustra por el hecho de que el 97% del agua de la tierra está contenida en los océanos, cuyo elevado contenido de sal (35000 mg/L) hace que este vasto recurso sea virtualmente inútil para el consumo humano sin un tratamiento adecuado. Solo el 0,1% está contenida en los ríos y lagos.

El agua y la lluvia no están uniformemente distribuidas sobre la masa terráquea como consecuencia de ello, muchas zonas del mundo hoy en día esta sujetas a serias y recurrentes sequias.

En Colombia la implantación de sistemas para el reciclaje de aguas aún no se han difundido, esto debido a la percepción de abundancia de agua que aún se tiene y a la escasa presión de la regulación jurídica que hace que las empresas no se sientan obligadas y/o incentivadas a contar con este tipo de sistemas.

Esto se refleja en los resultados del estudio de caracterización ambiental de la sabana de occidente 2014-2015, donde se obtuvo que para 500 empresas encuestadas, el 59% de las empresas no cuentan con un sistema de ahorro y aprovechamiento del agua, el 83% no cuentan con un sistema para tratar los vertimientos y del 17% que si cuenta con un sistema de tratamiento, ninguno cuenta con sistemas de tratamiento terciarios como osmosis inversa. (Camara de comercio de Facatativa, 2014).

Por ende el proyecto aporta elementos de juicio para promover el uso de sistema de osmosis inversa para recuperar agua industrial con alta conductividad provenientes de enjuague de suavizadores, purgas de caldera y torres de enfriamiento, en términos de la calidad del agua permeada y la eficiencia en recuperación de agua.

Y para el caso particular la empresa Bio D S.A. contribuye a una disminución importante en los gastos de disposición de aguas industriales usadas.

Se eligió realizar este trabajo de grado debido a los beneficios que traerá tanto a sus ejecutantes, como a la empresa Bio D S.A., a la industria de hidrocarburos, y a las ventajas que favorecen el desarrollo de este. Dichos beneficios y ventajas son:

- Permitirá a los ejecutantes del proyecto hacer uso de los conocimientos teóricos y de las herramientas adquiridas durante su proceso de formación como ingenieros, para así dar solución al problema planteado.
- Cooperar con la ejecución y desarrollo de actividades investigativas realizadas por parte de la empresa Bio d.
- Bio d S.A., posee y tiene a su disposición los recursos económicos necesarios para la ejecución del trabajo.
- Se cuenta con el apoyo y asesoría de ingenieros expertos en el tema, lo cual permitirá encaminar de forma correcta el desarrollo del proyecto.

## **2.4 Formulación clara y precisa del problema**

El agua industrial proveniente de purgas de caldera, torres de enfriamiento y enjuagues de suavizadores, posee una alta conductividad, lo cual la hace inútil para reutilizarla en el proceso, por esta razón surge la necesidad de implementar un sistema de tratamiento de osmosis inversa, teniendo en cuenta el interés de la empresa por disminuir la cantidad de agua utilizada diariamente para su funcionamiento, además para el tipo de contaminantes que se requieren remover (Sólidos disueltos) los procesos de membrana son los más aplicables.

## **2.5 Tipo de Investigación y limitación del problema**

### **2.5.1 Tipo de investigación**

Si revisamos los procedimientos y técnicas que se van a aplicar para resolver el problema planteado, se infiere que el tipo de investigación que se realizara será la investigación aplicada. Esta se caracteriza por su interés en la aplicación, utilización y consecuencias prácticas de los conocimientos teóricos disponibles. La investigación aplicada busca conocer para hacer, actuar, construir y modificar<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>



## **2.5.2 Limitación del problema**

La solución del problema propuesta en este trabajo tiene como únicos fines la instalación del sistema de osmosis inversa en la planta de Bio D S.A., realizando sus respectivas pruebas de verificación de funcionamiento. Aspectos como el cálculo de la eficiencia del sistema a partir de los datos teóricos, y el análisis de los datos generados por dichos cálculos, harán parte de las siguientes fases del desarrollo que busca maximizar la recuperación de aguas de proceso.

## **2.6 Objetivos generales y específicos**

### **2.6.1 Objetivo General**

Instalar un sistema de osmosis inversa en la planta de biocombustibles Bio D S.A., para la recuperación de un porcentaje de aguas residuales.

### **2.6.2 Objetivos específicos**

1. Seleccionar la ubicación donde se instalará la planta de tratamiento de Osmosis Inversa.
2. Adecuar las instalaciones de la planta de biocombustibles para transportar el agua residual al punto de tratamiento.
3. Calcular los sistemas de bombeo necesarios para realizar el proceso de recuperación del agua.
4. Realizar la interventoría del montaje del sistema seleccionado.
5. Verificar el funcionamiento de la planta de osmosis inversa y realizar un estudio de los resultados reales versus los esperados.

## 2.7 Resultados esperados

Una vez finalizado el proceso con el cual se le dará solución al problema planteado, se pretende recuperar el 70% de los 1230m<sup>3</sup> de agua, que mensualmente Bio D S.A., dispone a una empresa externa para realizar el correspondiente tratamiento al agua de purgas de caldera, torres de enfriamiento y enjuagues de suavizadores, para de esta manera generar un ahorro monetario de \$135'000.000 COP. Menos el costo operacional mensual de la planta de osmosis inversa.

## 3. METODOLOGÍA GENERAL

<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>PROCESO METODOLÓGICO</b>
Seleccionar la ubicación donde se instalará la planta de tratamiento de Osmosis Inversa.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Identificar el espacio adecuado con el dimensionamiento y características requeridas por el fabricante.</li></ul>
Adecuar las instalaciones de la planta de biocombustibles para transportar el agua residual al punto de tratamiento.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ubicar el yacimiento y los pozos de agua.</li><li>• Realizar las respectivas distribuciones de líneas de tubería.</li></ul>
Calcular los sistemas de bombeo necesarios para realizar el proceso de recuperación del agua.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Realizar cálculos necesarios para el óptimo funcionamiento.</li></ul>
Realizar la interventoría del montaje del sistema seleccionado.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Establecer los requerimientos del montaje del sistema presentes en la planta.</li></ul>
Verificar el funcionamiento de la planta de osmosis inversa y realizar un estudio de los resultados reales versus los esperados.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recolección y análisis de datos</li></ul>
Cuantificar los resultados finales para obtener el plan de beneficios logrado con la implementación del proyecto propuesto.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Revisión de la lectura de datos de cada uno de los sistemas de la planta</li></ul>

#### 4. MARCO TEÓRICO

### INTERCAMBIO IÓNICO PARA EL ABLANDAMIENTO DE LAS AGUAS INDUSTRIALES

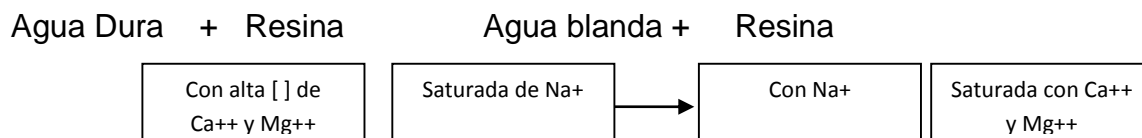
#### Generalidades

El agua se puede suavizar eliminando los iones de calcio y magnesio ( $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ ). Una vez que se ha conseguido esto, se denomina agua blanda. Algunas aguas son naturalmente blandas, en tanto que otras tienen diferentes grados de dureza. Uno de los medios comunes para suavizar el agua es mediante el intercambio iónico.

El intercambio iónico es un proceso que permite intercambiar iones entre un líquido y un sólido. El sólido es llamado resina y hay dos tipos: las resinas catiónicas que intercambian cationes, y las aniónicas que intercambian aniones. Para el ablandamiento de aguas se utilizan resinas de intercambio catiónico ya que se desean remover los cationes  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ . La resina inicialmente está cargada del catión sodio ( $\text{Na}^+$ ) y estos serán los iones que pasaran al líquido al mismo tiempo que los cationes  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , quedaran retenidos en la resina.

Cabe destacar que los cationes sodio que son introducidos al agua no confieren dureza a la misma

En la ecuación 1, se resume el proceso de intercambio iónico:



Ecuación 1. Intercambio Iónico

#### Regeneración de la resina

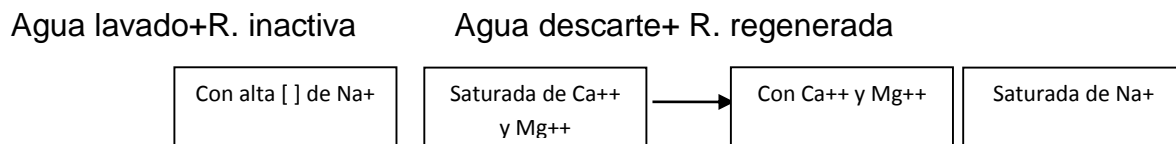
Cuando la resina ya no tiene más iones de sodio para ser intercambiados, es cuando se establece que la resina está saturada con  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , lo cual

significa que todos los espacios anteriormente ocupados por el sodio ahora lo están por los iones de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ ; en este estado ya no ablanda más el agua porque el intercambio se frena.

Sin embargo la resina puede regenerarse fácilmente. Lo que se hace para regenerar la resina es justamente la operación inversa: se hace pasar una solución concentrada de cloruro de sodio por la resina de modo que todos los iones sodio que están en el líquido, ahora pasara a tomar el lugar del calcio y el magnesio, llevando la resina a su forma original y activa, lista para ser usada nuevamente. En el líquido quedaran los iones que provocan la dureza del agua y este luego será descartado.

Es importante tener en cuenta que la vida útil de la resina puede ser muy corta si se hace pasar a través de ella, aguas con gran cantidad de partículas en suspensión las cuales tapan los orificios de la resina.

En la ecuación 2, se resume el proceso de regeneración de la resina:



Ecuación 2. Regeneración de la resina

## OSMOSIS INVERSA

### Generalidades

La osmosis inversa es uno de los procesos de membrana más comúnmente utilizados para el tratamiento del agua. Como para cualquier proceso de tratamiento del agua la osmosis inversa se selecciona en base a costo y calidad, siendo el costo el factor principal la mayoría de las veces.

La osmosis inversa es capaz de rechazar contaminantes o partículas con diámetros tan pequeños como  $0,0001\mu\text{m}$ , la osmosis inversa puede describirse

como un proceso de difusión controlada en la que la transferencia de masa de iones a través de las membranas está controlada por difusión. Consecuentemente este proceso puede llevar a la remoción de sales, durezas, patógenos, turbidez, compuestos orgánicos sintéticos, pesticidas y la mayoría de los contaminantes del agua conocidos hoy en día.

Una de las primeras aplicaciones de la tecnología de membrana fue la conversión del agua de mar en agua potable. Los contaminantes a eliminar en esta aplicación serían las sales disueltas o principalmente el cloruro sódico.

#### Características de las membranas

Hay muchas configuraciones diferentes de membranas que se utilizan en la práctica industrial. Sin embargo, la fibra fina hueca y los elementos enrollados en espiral son los más comunes.

Los módulos de fibra fina hueca consisten en un recipiente a presión, en cuyo interior hay un cartucho conteniendo el mazo de membranas. El mazo se ha creado doblando un grupo de fibras huecas en forma de U y difundiéndolo con resina epoxi por uno de los extremos terminales en la placa final. La corriente de alimentación fluye radialmente desde el centro del tubo de alimentación, al canal de recogida de salmuera en el exterior del elemento.

La mayor velocidad de la corriente de alimentación se encuentra en el módulo y la menor velocidad está en la zona exterior del mazo de membranas. La recuperación de un elemento de fibra fina hueca varía del 10 al 50 % y es normalmente más elevada que la de un elemento de membranas enrollado en espiral. La velocidad de la corriente radial de alimentación a lo largo de la superficie exterior de la fibra hueca varía de 0,003 a 0,0003 m/s, lo que da un número de Reynolds entre 100 y 500 a través de la membrana. El mazo de membranas es difícil de limpiar.

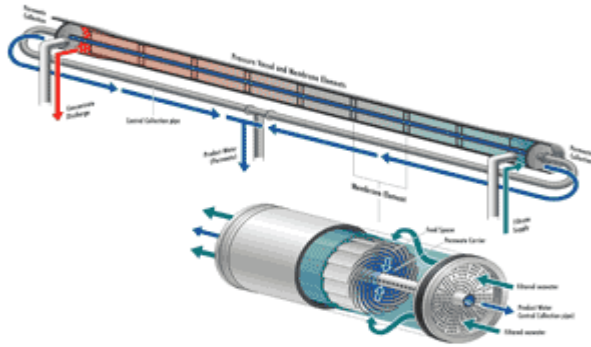


Figura 1. Esquema membrana de fibra fina hueca

Los elementos enrollados en espiral están fabricados a partir de hojas planas de membrana. Los elementos enrollados en espiral constan de envolturas de membranas agregadas a un tubo central que colecta la corriente de agua permeada.

El diseño de un elemento enrollado en espiral difiere según el fabricante; sin embargo la siguiente descripción se aplica a los diseños de Film tec, Hydranautics, Trisep, Desal y Fluid Systems.

Una envoltura de membrana es una membrana de hoja plana que ha sido colocada y enrollada sobre un separador de corriente de permeado. La hoja plana consta de dos capas integrales y una capa selectiva situada sobre un soporte tejido de textura porosa. La capa activa de la membrana está en la parte exterior del enrollamiento. La envoltura está pegada a lo largo de los tres bordes abiertos y cerca del rollo. El separador de permeado está completamente encerrado en el rollo. El final del rollo está conectado al tubo colector central.

La corriente de alimentación entra a través del extremo abierto del elemento enrollado en espiral, por el canal creado por el separador de la corriente de alimentación. La corriente de alimentación puede fluir en un camino paralelo al tubo colector central o a través de la capa activa de la membrana y soporte de membrana, por el interior del canal formado por los separadores de la corriente de permeado. La corriente de permeado sigue un camino espiral entre el tubo colector central y es llevada hacia afuera como agua producto.

La recuperación es aproximadamente entre el 5 a 15%, el número de Reynolds es normalmente mayor que 100 y menor que 1000.

La configuración física del elemento es tal que produce un caudal de alimentación turbulento por lo que la membrana es más fácilmente accesible a los agentes de limpieza.

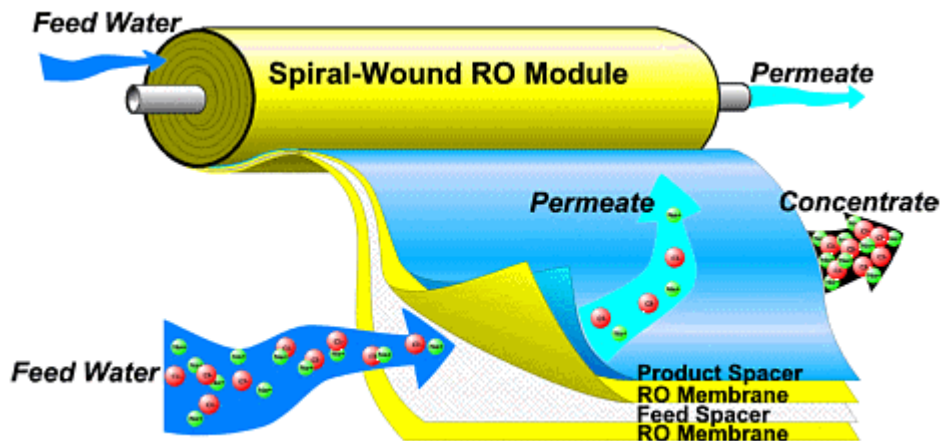


Figura 2. Esquema membrana enrollada en espiral

Parámetros en los procesos con membranas

Los principales parámetros en los procesos con membrana son: la velocidad de filtración (J), la retención de solutos por la membrana (R), la presión de operación (P), la temperatura (T) y la concentración de solutos en la alimentación (cf).

Velocidad de Filtración (J):

Se determina con base en el volumen de solución de la alimentación que pasa en un lapso de tiempo a través de la membrana, donde el flujo de alimentación es tangencial a la superficie a permear por unidad de área. Figura 5.

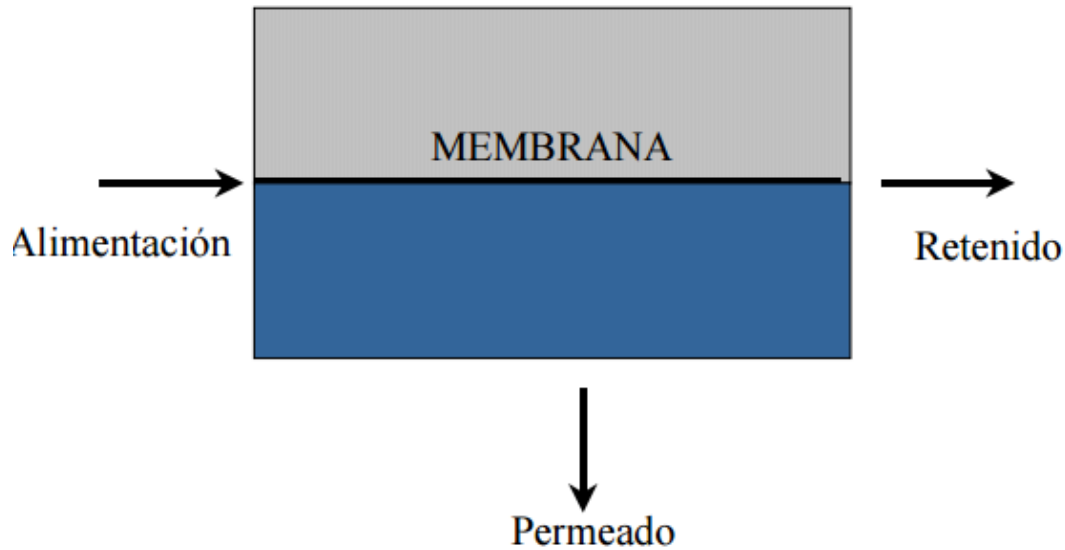


Figura 3. Operación de filtración tangencial en proceso con membranas.

El concepto de velocidad de filtración anterior se expresa matemáticamente como:

$$J = V / (t * A) \text{ Ecuación 3. Velocidad de filtración}$$

La resistencia al flujo a través de la membrana se puede obtener como la suma de las resistencias R:

$$R = R_m + R_a + R_p + R_g + R_{cp} \text{ Ecuación 4. Resistencia al flujo}$$

Dónde:

$R_m$  = Resistencia de la membrana, que depende del grado de porosidad de la membrana y del espesor de la misma.

$R_a$  = Resistencia por la adsorción de solutos sobre la membrana.

$R_p$  = Resistencia por el bloqueo de poros, debido a sustancias en suspensión.

$R_g$  = Resistencia debido a la capa de gel formada a la entrada de flujo a permear la membrana y localizada sobre ella. Es similar a la de polarización de la concentración. Responde a sustancias que se agregan y se compactan formando una segunda capa. No siempre ocurre, pero es causada por la concentración de sólidos sobre la membrana.



$R_{cp}$ = Resistencia debida a la polarización de la concentración, por sólidos que se agrupan a la entrada de la membrana, y se oponen a la filtración.

Presión de Operación (P):

En los procesos de ósmosis inversa el flujo de alimentación es en dirección tangencial a la superficie de permeado de la membrana, y en razón de la alta velocidad de alimentación inducida por la presión aplicada, las sustancias retenidas allí son arrastradas de la superficie, evitando así la obstrucción de poros.

Figura 6.

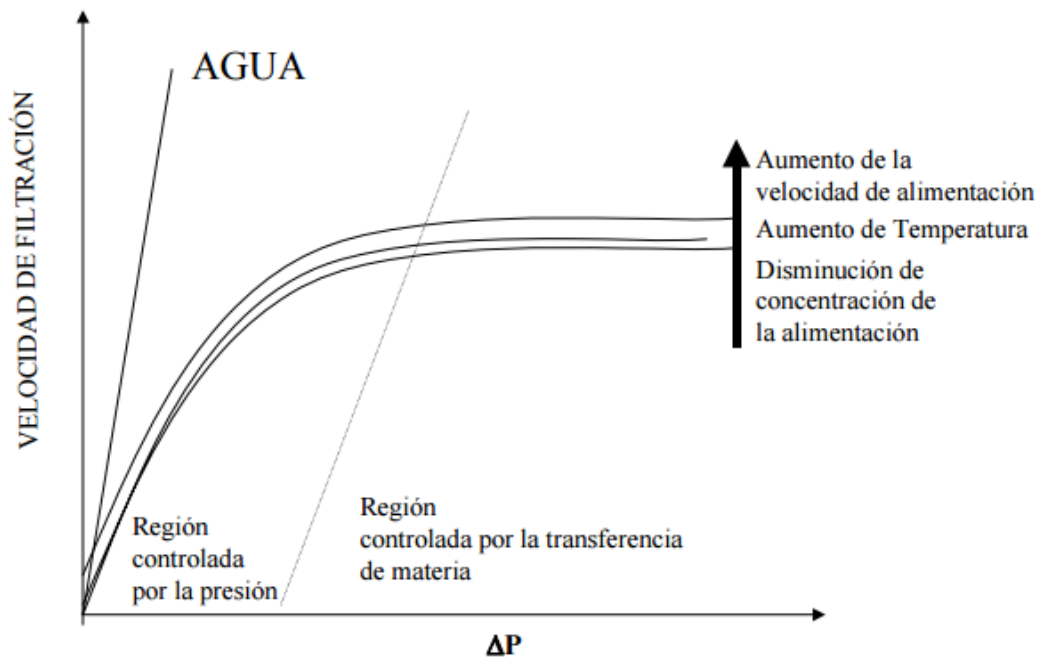


Figura 4. Variación de la velocidad de filtración en función de la presión aplicada

Como se vio al tratar lo relativo a la velocidad de filtración, ésta está afectada directamente por la presión aplicada a la solución de alimentación, y la relación entre la velocidad de filtración y la presión transmembrana se mantiene constante sólo cuando el flujo de alimentación está libre de solutos como el agua pura.

Temperatura.

Las membranas poliméricas, son sensibles a los cambios de temperatura, cuyo incremento afecta la permeabilidad de la membrana por reducción de la resistencia de ésta al flujo, aumentando la velocidad de filtración; una mayor temperatura reduce la viscosidad del solvente, situación que también conlleva una mayor velocidad de filtración.

Concentración de Solutos en la Alimentación.

Una mayor cantidad de sólidos disueltos hace que haya mayor concentración de ellos depositados sobre la membrana, hecho que causa una reducción de la velocidad de filtración. La ecuación 7 ilustra esta situación.

La relación entre los parámetros de velocidad de filtración y presión transmembrana frente a los incrementos de velocidad de alimentación, temperatura y reducción de la concentración de alimentación se pueden visualizar en la Figura 6.

En los procesos de separación con membranas, cuando la fuerza impulsora es la presión la velocidad de permeación se suele disminuir con el tiempo, y este hecho se debe a los fenómenos que se llaman polarización de la concentración y ensuciamiento de las membranas, por adsorción, formación de una capa de gel y taponamiento de los poros. Los hechos anteriores contribuyen a aumentar la resistencia al transporte en general a través de la membrana. Esto depende del tipo de proceso con membranas que se esté utilizando y de la solución de alimentación.

Polarización por concentración

Cuando se desarrolla un proceso de separación con membranas, a medida que avanza el tiempo van quedando solutos en cercanías de la membrana, del lado de la alimentación, las cuales pertenecen a sales disueltas que no han podido pasar al permeado.

## INVESTIGACIONES REALIZADAS

Las investigaciones realizadas a la fecha en materia del uso de la tecnología de osmosis inversa para reutilizar aguas residuales industriales estan enfocados en el tratamiento y reuso de aguas residuales originadas en el proceso productivo y no como en el caso de esta investigacion originada en los servicios industriales.

En terminos del tipo de agua que se trata en este estudio, solo se encontro una investigacion, donde (Lowemberg, Baum, & Groot, 2015) evaluaron los efectos de diferentes pretratamientos en el declive del flujo normalizado, con el uso de osmosis inversa para desalinizar las purgas de torres de enfriamiento.

Se encontraron investigaciones donde se implemento el uso de aguas residuales industriales tratadas con membranas, de la industria farmaceutica Warner-Lambert, INC en puerto rico (Casas, Jose; Nieves, Axel, 2000), de la industria de acero (Colla, Rocito, Luca , Padilla, & Menendez, 2015) y domesticas regeneradas (es decir tratadas con tratamiento terciario que asegura una excelente calidad) en la industria quimica Veolia (Garcia), para reponer agua en los sistemas de enfriamiento.

En la investigacion de (Xin, Lopes, Crespo, & Rusten, 2013) se evaluaba el uso de las tecnologias de nanofiltracion y evaporacion para el reuos del agua residual de una uindustria de cuacho como agua de alimentacion para caldera. Igual caso en la investigacion de (Suarez, Fidalgo, & Riera, 2014) donde se evaluo el reuso de agua residual de la industria lechera tratada con osmosis inversa para reposion de agua en caldera.

En todas as investigaciones se encontro que la calidad del permeado es apta para reutilizar el agua residual industrial tratada como reposición en los sistemas de vapor y enfriamiento.

## 5. HIPÓTESIS

Si se realiza la instalación y puesta a punto de la planta de osmosis inversa en la empresa Bio D S.A se podrá recuperar un porcentaje de agua de proceso proveniente de las purgas de caldera, torres de enfriamiento y enjuagues de suavizantes.

## **6. INDICACIÓN DEL UNIVERSO, LA POBLACIÓN Y MUESTRA**

**Universo:** Sistema de tratamiento de agua por osmosis inversa.

**Población:** Este proyecto va enfocado a las personas residentes del municipio de Facatativá para reducir el impacto ambiental generado por el funcionamiento de la planta.

**Muestra:** Datos estadísticos de la disposición de purgas de caldera, torres de enfriamiento y enjuague de suavizantes.

## **7. PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Inicialmente la recolección de información requerida para realizar el diagnóstico y evaluación de la disposición de agua de proceso se realizara a través del histórico de datos. Una vez finalizada esta recolección, se procederá a la exploración del marco teórico (documentación existente) relacionado con el funcionamiento y los procedimientos que se deben aplicar para realizar los cálculos y las instalaciones en la planta. Finalmente se debe evaluar el funcionamiento de la planta una vez hayan sido optimizado el proceso, con el fin de asegurar el buen funcionamiento de la misma.

## 8. ASPECTOS DE ADMINISTRACIÓN Y CONTROL

### 8.1 Actividades a realizar

NÚMERO	EDT	NOMBRE	DURACIÓN	INICIO	FIN
		Reformulación infraestructura para reusó de retro lavados de los suavizadores	35,12d	15/06/2016	06/10/2016
1	1	CONTRATACIÓN, COTIZACIÓN Y APROBACIÓN DE CONTRATO PARA EQUIPO DE OSMOSIS INVERSA E INFRAESTRUCTURA ISBL	26,58d	15/06/2016	24/07/2016
2	1.1	Entrega de cotizaciones por parte de proveedores de OI (EDOSPINA) y otros	10,00d	15/06/2016	28/06/2016
3	1.2	Elaboración de cuadro comparativo de cotizaciones de equipo OI	1,00d	29/06/2016	29/06/2016
4	1.3	Reunión con proveedores para justificar cada una de las ofertas	5,00d	01/07/2016	05/07/2016
5	1.4	Realizar ajustes a las ofertas según reunión	2,00d	06/07/2016	09/07/2016
6	1.5	Reunión con el asesor externo para evaluar las ofertas	0,50d	09/07/2016	10/07/2016
7	1.6	Aprobación de cotización de equipo OI e infraestructura ISBL en comité de compras	0,20d	10/07/2016	10/07/2016
8	1.7	Hacer la SCP y REQ para el servicio de equipo OI e infraestructura ISB según cotización aprobada	0,20d	10/07/2016	10/07/2016
9	1.8	Generar y enviar orden de compra a proveedor de equipo OI e infraestructura ISB	1,00d	10/07/2016	11/07/2016
10	1.9	Hacer borrador del contrato de equipo OI e infraestructura ISB	1,00d	11/07/2016	12/07/2016
11	1.10	Revisión del borrador del contrato de equipo OI e infraestructura ISB	0,70d	12/07/2016	15/07/2016
12	1.11	Revisión del borrador del contrato de equipo OI e infraestructura ISB por parte del abogado	0,50d	15/07/2016	15/07/2016
41		Protección de alimentación	0,15d	15/07/2016	15/07/2016
13	1.12	Revisión del borrador del contrato de equipo OI e infraestructura ISB por parte del contratista	0,50d	15/07/2016	15/07/2016
42		Protección de alimentación	0,15d	15/07/2016	15/07/2016
14	1.13	Hacer correcciones al contrato según revisiones	0,50d	15/07/2016	16/07/2016
15	1.14	Recoger firmas del contrato	1,00d	16/07/2016	17/07/2016
16	1.15	Esperar y recibir por parte del proveedor, las pólizas de cumplimiento del contrato	2,00d	17/07/2016	19/07/2016
17	1.16	Solicitar anticipos para el proveedor de acuerdo al contrato	0,30d	19/07/2016	19/07/2016
18	1.17	Girar anticipos para al proveedor de acuerdo al contrato	3,00d	19/07/2016	24/07/2016
19	2	VISITA A UN PROYECTO DE RO EN OPERACIÓN	6,06d	02/07/2016	10/07/2016
20	2.1	Solicitar a empresas una visita para conocer un equipo de ósmosis inversa que este en operación	1,00d	02/07/2016	03/07/2016

21	2.2	Esperar aprobación de visita por parte de empresa.	5,00d	03/07/2016	09/07/2016
22	2.3	Realizar visita a planta RO en operación	1,00d	09/07/2016	10/07/2016
23	3	ELABORAR Y APROBAR LA FRI PARA EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA Y DETALLADA DE INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO DE AGUA SALMUERA Y PURGAS (OI)	1,20d	10/07/2016	11/07/2016
24	3.1	Corrección de FRI ingeniería básica y detallada de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	1,00d	10/07/2016	11/07/2016
25	3.2	Aprobación de FRI ingeniería básica y detallada de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	0,20d	11/07/2016	11/07/2016
26	4	REALIZAR ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN INGENIERÍA PARA DESARROLLO DE FRI PARA INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO DE AGUA SALMUERA Y PURGAS (OI)	2,50d	11/07/2016	16/07/2016
27	4.1	Realizar listado de tareas programa de ingeniería para FRI de ingeniería básica y detallada de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	0,50d	11/07/2016	12/07/2016
28	4.2	Realizar montaje de proyecto en Project del proyecto de desarrollo Ing. Básica y detallada de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	1,00d	12/07/2016	15/07/2016
29	4.3	Revisar y validar por parte del director de proyecto tareas completas, faltantes, dependencias, duraciones del proyecto en Project y Prochain del proyecto de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	0,50d	15/07/2016	15/07/2016
30	4.4	Realizar ajustes a proyecto en Project y Prochain del proyecto de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	0,50d	15/07/2016	16/07/2016
31	5	LANZAR SUBPROYECTO DE INGENIERIA BASICA Y DETALLADA, CONTRATACIÓN, COMPRAS Y MONTAJE DE INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO DE AGUA SALMUERA Y PURGA (OI)	6,54d	16/07/2016	24/07/2016
32	5.1	Complementar el cronograma de tareas para desarrollar la ingeniería básica y detallada, contratación, compras y montaje de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	1,00d	16/07/2016	17/07/2016
33	5.2	Grabar en Project y prochain subproyecto de ingeniería básica y detallada, contratación, compras y montaje de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	0,30d	17/07/2016	17/07/2016
34	5.3	Validar cronograma en prochain de subproyecto de ingeniería básica y detallada de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	0,30d	17/07/2016	17/07/2016
35	5.4	Revisar recurso restricción, definir la fecha de inicio del subproyecto de ingeniería básica y detallada, contratación, compras y montaje de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	0,30d	17/07/2016	18/07/2016

36	5.5	Ajustar prochain de subproyecto de ingeniería básica y detallada, contratación, compras y montaje de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	0,30d	18/07/2016	18/07/2016
37	5.6	Elaborar acta de inicio de sub-proyecto de ingeniería básica y detallada, contratación, compras y montaje de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	0,50d	18/07/2016	19/07/2016
43		Protección de alimentación	3,44d	19/07/2016	24/07/2016
38	5.7	Aprobar y firmar acta de inicio del sub-proyecto de ingeniería básica y detallada, contratación, compras y montaje de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI)	0,20d	24/07/2016	24/07/2016
39	5.8	Incluir sub-proyecto de ingeniería básica y detallada, contratación, compras y montaje de la infraestructura de tratamiento de agua salmuera y purgas (OI) en consolidado de proyectos	0,20d	24/07/2016	24/07/2016
40		Protección del proyecto	8,14d	24/07/2016	06/08/2016

## 8.2 Presupuesto de la investigación

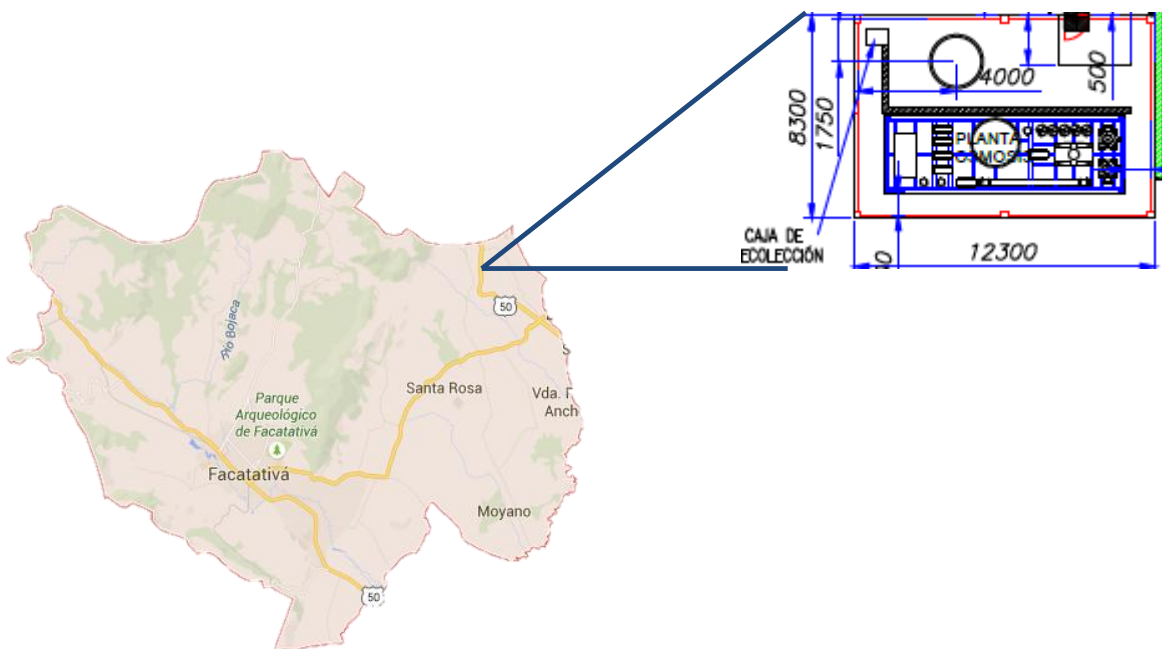
Concepto	Valor presupuestado
Ingeniería básica y detallada	\$ 30.000.000
Equipos ISBL	\$ 395.000.000
Materiales mecánicos	\$ 73.000.000
Materiales eléctricos	\$ 32.000.000
Mano de obra montaje eléctrico	\$ 20.000.000
Mano de obra montaje mecánico	\$ 76.000.000
Obras civiles	\$ 23.000.000
Pruebas de laboratorio	\$ 3.000.000
Imprevistos	\$ 52.160.000
<b>Total</b>	<b>\$ 704.160.000</b>

## 9. ASPECTOS INFORMATIVOS SOBRE LA INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE

## 9.1 Información general sobre la institución o empresa donde se realizará la investigación

El proyecto se desarrolló en la planta de tratamiento de agua para uso industrial de BIO D S.A, ubicada en las coordenadas N: 1.027.685 y E: 970.384; del predio ubicado en el complejo industrial Mancilla Km 2.6, antigua vía a la vega, de la vereda Mancilla, jurisdicción del municipio de Facatativá, departamento de Cundinamarca.

Con una altitud de 2.586 msnm y temperatura promedio de 12°C.





## 10 ANEXOS

### 10.1 Bibliografía.

- *Association of water technologies, INC. (2009). Chapter 3 : Boiler Systems. En Technical reference and training manual (págs. 6-139). Association of water technologies, INC.*
- *Association of water technologies, INC. (2009). Chapter 4: Cooling water. En I. Association of water technologies, Technical reference and training manual (págs. 1-209).*
- *Camara de comercio de Facatativa. (2014). Resultados primera encuesta ambiental sabana de occidente. Estudio de caracterización ambiental de la sabana de occidente 2014-2015. Facatativa, Cundinamarca, Colombia.*
- *Casas, Jose; Nieves, Axel. (2000). Proyecto innovador de reuso de aguas usadas en una industria farmaceutica: El caso de Warner-Lambert, INC. XXVII Congreso interamericano de ingenieria sanitaria, 1-7.*
- *Colla, V., Rocito, F., Luca , C., Padilla, B., & Menendez, V. (2015). Sustainable reverse osmosis application of wasterwater treatment in the steel industry. Journal of cleaner production, 1-13.*
- *Comision nacional para el ahorro de energia CONAE. (Enero de 2008). Tratamiento de agua para su utilizacion en calderas. Mexico.*
- *Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W., & Greenberg, A. E. (2005). STANDARD METHODS. Baltimore: Centennial Edition.*
- *Garcia Olmos, C. F. (Noviembre de 2002). Tesis Doctoral. Aplicación de la osmosis inversa y la nanofiltración en el acondicionamiento de aguas para calderas. Oviedo, España.*
- *Garcia, F. (s.f.). Utilizacion de agua regenerada en torres de refrigeracion. España.*
- *Lowemberg, J., Baum, J., & Groot, C. (2015). Comparision of pre-treatment technologies towards improving reverse osmosis desalination of cooling towers blow dow. Desalination, 140-149.*

- *Mallevalle, J., Odendaal, P. E., & Wiesner, M. R. (1998). Tratamiento del agua por procesos de membrana. España: Mc Graw Hill.*
- *Spx cooling technologies inc. (2008). Manual la92-1319f. Overland park, Kansas, United states.*
- *Suarez, A., Fidalgo, T., & Riera, F. A. (201). Recovery of dairy industry wastewaters by reverse osmosis.Production of boiler water. Separation and purification technology, 204-211.*
- *Xin, G., Lopes, M., Crespo, J., & Rusten, B. (2013). A continuous nanofiltration + evaporation process for high strength rubber wastewater treatment and water reuse. Separation and purification technology, 19-27.*